

schichtfolie bilden bzw. sich ausgehend vom Metallisierungsstreifen in die Mehrschichtfolie fortsetzen. Der Riß kann sich im Verlauf des Betriebs des Piezoaktors weiter ausdehnen und zu einem Ausfall des piezoelektrischen Aktors führen. Also Folge davon kann eine gesamte Außenelektrode mit Metallisierungsstreifen und Mehrschichtfolie durchtrennt werden und so der Piezoaktor ausfallen.

[0009] Die grundlegende Idee der Erfindung besteht darin, die mechanischen Spannungen in einer elektrisch leitfähigen Mehrschichtfolie während des Betriebs des Piezoaktors zu minimieren. Diese mechanischen Spannungen sind beispielsweise dann besonders groß, wenn im piezoelektrisch inaktiven Bereich des Aktorkörpers ein Riß durch eine Polarisierung des Piezoaktors entstanden ist (Polungsriß). Bei der Expansion und der Kontraktion findet bei einem solchen Riß eine relativ große Änderung eines Ausmaßes des Aktorkörpers statt. Durch diese große Änderung treten große mechanische Spannungen in der Mehrschichtfolie auf, insbesondere dann, wenn die Mehrschichtfolie mit einem starren Anschlußelement fest verbunden ist. Diese Spannungen werden durch geeignete Maßnahmen reduziert.

[0010] Eine elektrische Leitungsschicht der Mehrschichtfolie ist beispielsweise eine Metallschicht. Eine Metallschicht ist im allgemeinen wenig flexibel und somit kaum in der Lage, auftretende mechanische Spannungen abzubauen. Die Erfindung zielt deshalb insbesondere auf eine Erhöhung der Flexibilität der elektrischen Leitungsschicht ab.

[0011] Die Erhöhung der Flexibilität wird in erster Linie durch Einbringen einer Aussparung bzw. einer Ausdünnung in die Leitungsschicht. Die Leitungsschicht weist somit Löcher auf. Ein Durchmesser eines Lochs weist beispielsweise einen Wert auf, der aus dem Bereich zwischen 20 und 200 µm ausgewählt ist.

[0012] Form, Größe, Platzierung und Anzahl der Löcher in der Leitungsschicht sind so gestaltet, daß die Mehrschichtfolie insbesondere in Richtung der Expansion und Kontraktion des Aktorkörpers flexibel ist.

[0013] Die Löcher in der Leitungsschicht sind insbesondere in einem Kontaktierungsbereich angeordnet, über den die Mehrschichtfolie an dem Aktorkörper angebracht ist. In einem solchen Kontaktierungsbereich treten während des Betriebs des Piezoaktors besonders starke Zug- und Druckspannungen auf. Die Löcher können aber auch über die gesamte Leitungsschicht verteilt sein. Sie können auch am starren elektrischen Anschlußelement angeordnet sein. Entscheidend ist, daß durch die Löcher die Spannungen ausgehend vom Kontaktierungsbereich über die Mehrschichtfolie bis hin zum elektrischen Anschlußelement weitgehend abgebaut sind.

[0014] In einer besonderen Ausgestaltung ist mindestens ein Loch der Leitungsschicht ein Sackloch. Ein Sackloch durchdringt die Leitungsschicht nicht vollständig. Die Leitungsschicht ist durch das Loch nur ausge-

dünnt. In einer weiteren Ausgestaltung weist die Leitungsschicht mindestens ein Loch in Form eines Ausschnitts auf. Hier durchdringt das Loch die Leitungsschicht in Dickenrichtung.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist mindestens ein Loch der Leitungsschicht ein Spalt. Der Spalt kann die Leitungsschicht lateral teilweise durchdringen. In dieser Form ist ein Spalt ein Schlitz oder Graben der Leitungsschicht. Der Spalt kann die Leitungsschicht aber auch vollständig durchdringen. Wenn ein Spalt die Leitungsschicht in Dickenrichtung vollständig durchdringt, weist die Leitungsschicht elektrisch leitfähige Stege auf. Zwei Stege sind durch einen Spalt voneinander getrennt. Viele parallel zueinander angeordnete derartige Spalte führen zu einer Vielzahl zueinander paralleler Stege. Vorzugsweise sind eine Vielzahl von Spalten nahezu senkrecht zur Richtung der Expansion und Kontraktion des Aktorkörpers angeordnet. Die Spalte können aber auch einen beliebigen Winkel zueinander und zur Richtung der Expansion und Kontraktion des Aktorkörpers einnehmen. Denkbar ist beispielsweise, daß die Leitungsfolie durch die Spalte ein Grätenmuster aufweisen.

[0016] In einer besonderen Ausgestaltung weist die Leitungsschicht mindestens ein Metall auf. Ein Metall ist insbesondere aus der Gruppe Aluminium, Beryllium, Kobalt, Eisen, Kupfer und Nickel ausgewählt. Es wird insbesondere eine Kupfer-, Nickel und/oder Aluminiumbasislegierung verwendet. Verschiedene Stähle sind ebenfalls denkbar. Von besonderem Vorteil ist eine Kupfer-Beryllium und eine Nickel-Beryllium-Legierung. Diese Legierungen zeichnen sich durch eine hohe Ermüdungsfestigkeit und damit durch eine hohe mechanische Langzeitstabilität aus.

[0017] Als Material der Leitungsschicht sind neben Metallen nichtmetallische Leiter wie beispielsweise organische Leitermaterialien denkbar.

[0018] An die Trägerschicht sind zwei Anforderungen geknüpft: Sie soll die Leitungsschicht stabilisieren und gleichzeitig eine hohe Flexibilität der gesamten Mehrschichtfolie gewährleisten. Dazu verfügt die Trägerschicht in einer besonderen Ausgestaltung über ein Verformungsmaterial. Dieses Verformungsmaterial zeichnet sich beispielsweise durch einen niedrigen Elastizitätsmodul aus. Das Verformungsmaterial der Trägerschicht ist beispielsweise ein Elastomer. Möglich ist auch, daß die Trägerschicht ganz aus einem Elastomer besteht.

[0019] In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung weist die Trägerschicht zur Erhöhung einer Flexibilität der Mehrschichtfolie mindestens ein Loch auf. Der Effekt eines derartigen Lochs ist oben beschrieben.

[0020] Vorzugsweise besteht die Trägerschicht aus einem elektrisch isolierenden Material. Das Material der Trägerschicht und das Material der Leitungsschicht weisen vorteilhaft ein ähnliches Temperaturendeckungs-

verhalten auf.

**[0021]** In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung weist die Mehrschichtfolie eine Trägerschicht aus Polyimid auf. Dieses Material zeichnet sich durch einen niedrigen Elastizitätsmodul in einem weiten Temperaturbereich aus. Beispielsweise wird ein Piezoaktor in einem Dieseleinspritzsystem verwendet wird. Dabei tritt eine Temperatur aus einem Temperaturbereich von - 40°C bis + 150°C auf. In diesen Temperaturbereich hat die Trägerschicht eine hohe Stabilität und gleichzeitig eine hohe Flexibilität.

**[0022]** Als weiteres Elastomer unter vielen denkbaren sei an dieser Stelle noch Polyurethan erwähnt.

**[0023]** Die Trägerschicht der Mehrschichtfolie muß nicht notwendigerweise elektrisch isolierend sein. Sie kann auch elektrisch leitfähig sein.

**[0024]** Es sind verschiedenste Designvariationen der Mehrschichtfolie mit den Löchern denkbar. Diese Designvariationen können für ein bestimmtes Material der Leitungsschicht und/oder Trägerschicht unterschiedlich ausfallen und so zu einer Minimierung mechanischer Spannungen während des Betriebs und auch während der Polarisierung des Piezoaktors führen. Diese Designvariationen betreffen beispielsweise die Form und Größe der Löcher der Leitungsschicht. Ziel kann dabei sein, daß eine Kerbempfindlichkeit der Leitungsschicht minimiert wird. Eine verminderte Kerbempfindlichkeit der Leitungsschicht an einem Loch führt dazu, daß eine Rißbildung in der Leitungsschicht am Loch unterbleibt bzw. nur erschwert statt finden kann. Dazu wird beispielsweise ein Ende eines Lochs in Form eines Schlitzes abgerundet. Es kann auch an dem Loch eine mechanische Spannung in der Leitungsschicht künstlich aufgebaut werden, die einer mechanischen Spannung, die im Betrieb des Piezoaktors auftritt, entgegenwirkt. Durch „Aufdornen“ wird beispielsweise die Leitungsschicht am Loch unter eine Druckspannung gesetzt, die eine Zugspannung in der Leitungsschicht während des Betriebs des Piezoaktors vermindert. Beim „Aufdornen“ wird in ein Loch der Leitungsschicht ein Werkstück gesteckt, das einen etwas größeren Durchmesser aufweist als das Loch selbst. Das Einbringen einer künstlichen Spannung erfolgt bei einem Schitz beispielsweise an den Enden des Schlitzes.

**[0025]** Eine Mehrschichtfolie kann aus mehreren Träger- und/oder Leitungsschichten bestehen. Beispielsweise ist eine Leitungsschicht zwischen zwei Trägerschichten oder eine Trägerschicht zwischen zwei Leitungsschichten angeordnet. Denkbar ist beispielsweise eine Mehrschichtfolie mit einer Schichtfolge Kupfer-Polyimid-Kupfer oder Polyimid-Kupfer-Polyimid.

**[0026]** Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung einer Mehrschichtfolie mit mindestens einer Trägerschicht und mindestens einer elektrischen Leitungsschicht zur Steuerung einer Expansion und Kontraktion eines Piezoaktors angegeben. Das Verfahren eignet sich ins-

besondere zum Herstellen einer Mehrschichtfolie, wie sie zuvor beschrieben wurde. Dabei wird mindestens ein Loch in einer Leitungsschicht erzeugt.

**[0027]** Insbesondere wird ein Loch vor einem Zusammenbringen der Trägerschicht und der Leitungsschicht erzeugt. Dazu eignen sich gängige Verfahren zu einer Strukturierung einer dünnen Folie. Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise ein Ausstanzen der Löcher. Ebenso ist ein Ätzverfahren denkbar. Löcher können auch mit Hilfe hochenergetischer Strahlung durch Abtragung von Material aus der Schicht erzeugt werden. Ein Loch in Form eines Spalts kann auch in eine Leitungsschicht geschnitten wird. Ein Abtragen durch Sägen oder Schleifen ist ebenfalls denkbar.

**[0028]** In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ein Loch in der Leitungsschicht nach einem Zusammenbringen der Trägerschicht und der Leitungsschicht durchgeführt. Beispielsweise wird die Trägerschicht und die Leitungsschicht durch einen Kleber miteinander verbunden. Die so hergestellte Mehrschichtfolie wird danach beispielsweise in einem Photolithographieverfahren strukturiert.

**[0029]** Zusammenfassend ergeben sich mit der vorliegenden Erfindung folgende Vorteile:

- Die Löcher in der Leitungsschicht der elektrisch leitfähigen Mehrschichtfolie führen dazu, daß mechanische Spannungen in der Leitungsschicht reduziert sind. Eine Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Risses in der Leitungsschicht ist verringert.
- Wenn in der Leitungsschicht ein Riß auftritt, wird eine Ausbreitung des Risses durch die Löcher erschwert bzw. verhindert.
- Die Trägerschicht reduziert Vibrationen, die während des Betriebs des Piezoaktors auftreten und zu rißbildenden mechanischen Spannungen führen können.
- Während des Betriebs des Piezoaktors bleiben die Innenelektroden des Aktorkörpers elektrisch kontaktiert. Es resultiert eine sehr hohe Zyklenzahl und damit Lebensdauer des Piezoaktors.
- Zur Strukturierung der Leitungsschicht können gängige Verfahren verwendet werden, die in der Dünnschichttechnik eingesetzt werden.

**[0030]** Anhand mehrerer Ausführungsbeispiele und der dazugehörigen Zeichnungen wird im folgenden eine Mehrschichtfolie zur Steuerung einer Expansion und Kontraktion eines Piezoaktors vorgestellt. Die Figuren sind schematisch und stellen keine maßstabsgetreuen Abbildungen der bezeichneten Gegenstände dar.

Figur 1a zeigt einen Piezoaktor bestehend

2002 P14928 B2

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
03.01.2001 Patentblatt 2001/01

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: H01L 41/047

(21) Anmeldenummer: 00113520.1

(22) Anmeldetag: 26.06.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 29.06.1999 DE 19929687

(71) Anmelder:

- SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
80333 München (DE)
- EPCOS AG  
81541 München (DE)

(72) Erfinder:

- Schuh, Carsten  
85598 Baldham (DE)

• Lubitz, Karl

85521 Ottobrunn (DE)

• Cramer, Dieter

8042 Graz (AT)

• Steinkopff, Thorsten

85614 Eglharting (DE)

• Hahn, Iris

85579 Neubiberg (DE)

• Wolff, Andreas

81825 München (DE)

• Scherer, Clemens

82205 Gilching (DE)

(74) Vertreter:

Zedlitz, Peter, Dipl.-Inf.  
Patentanwalt,  
Postfach 22 13 17  
80503 München (DE)

(54) **Piezoaktor mit einer elektrisch leitenden Mehrschichtfolie und Verfahren zur Herstellung der Mehrschichtfolie**

(57) Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor (1) mit einem Aktorkörper(11) und mindestens einer elektrisch leitenden Mehrschichtfolie (16) mit einem starren elektrischen Anschlußelement (22). Die Mehrschichtfolie dient einer Steuerung einer Expansion und einer Kontraktion des Aktorkörpers. Zur Minimierung mechanischer Spannungen, die während des Betriebs des Piezoaktors in der Mehrschichtfolie auftreten können, weist eine elektrische Leitungsschicht (166) der Mehrschichtfolie Löcher (161) auf. Die Löcher in der Leitungsschicht werden beispielsweise photolithographisch hergestellt.

FIG 2A

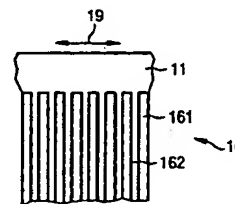


FIG 2B

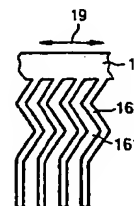
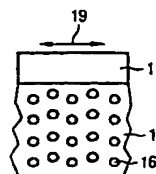


FIG 2C



EP 1 065 735 A2

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor mit einem Aktorkörper und einer elektrisch leitenden Mehrschichtfolie zu einer Steuerung einer Expansion und einer Kontraktion des Aktorkörpers, wobei die Mehrschichtfolie mindestens eine Trägerschicht, mindestens eine elektrische Leitungsschicht und mindestens ein starres elektrisches Anschlußelement aufweist. Ein derartiger Piezoaktor ist beispielsweise aus DE 197 15 488 C1 bekannt. Daneben beschäftigt sich die Erfindung mit einem Verfahren zur Herstellung der Mehrschichtfolie.

**[0002]** Ein Piezoaktor ist beispielsweise aus mehreren zu einem stapelförmigen Aktorkörper angeordneten Piezoelementen aufgebaut. Jedes Piezoelement besteht aus einer Piezokeramikschiicht, die beiderseits mit einer metallischen Elektrode versehen ist. Wird an diese Elektroden, die auch als Innenelektroden bezeichnet werden, eine elektrische Spannung angelegt, so ändert sich eine Oberflächenladung der Piezokeramikschiicht. Auf diese Änderung der Oberflächenladung reagiert die Piezokeramikschiicht mit einer Gitterverzerrung (Piezoeffekt). Als Folge der Gitterverzerrung expandiert und kontrahiert das Piezoelement und damit der Aktorkörper in einer Richtung, die durch die Anordnung der Piezokeramikschiicht und der Elektroden eines Piezoelements bestimmt ist. Entsprechend einem Ausmaß der Expansion und Kontraktion kommt es zu einer nutzbaren Änderung einer Ausdehnung des stapelförmigen Aktorkörpers.

**[0003]** Aus DE 197 15 488 C1 ist ein derartiger Piezoaktor bekannt. Der Piezoaktor verfügt über einen Aktorkörper in monolithischer Vielschichtbauweise. Der Aktorkörper umfaßt zumindest einen Stapel alternierender Elektroden und Piezokeramikschiichten. Eine Elektrodenschicht dient jeder benachbarten Piezokeramikschiicht als Elektrode (Innenelektrode). Dazu erfolgt eine elektrische Kontaktierung der Elektrodenschichten in einer alternierenden Polarität. Die alternierende Polarität wird mit Hilfe zweier Außenelektroden erreicht. Eine Außenelektrode besteht aus einem Metallisierungstreifen und einer elektrisch leitfähigen Mehrschichtfolie. Ein Metallisierungstreifen ist an einer seitlichen Oberfläche des Aktorkörpers angebracht. Er erstreckt sich dabei über eine Höhe, die sich aus übereinander gestapelten, elektrisch aktiven Schichten des Aktorkörpers ergibt. Ein Metallisierungstreifen ist mit jeder zweiten Elektrodenschicht elektrisch leitend verbunden und gegen jede dazwischenliegende erste Elektrodenschicht elektrisch isoliert. Dagegen ist der zweite Metallisierungstreifen gegen jede zweite Elektrodenschicht isoliert und mit jeder ersten Elektrodenschicht elektrisch leitend verbunden. Eine elektrische Isolierung einer Elektrodenschicht gegenüber einem Metallisierungstreifen gelingt mit Hilfe einer Aussparung in der Elektrodenschicht. Dabei ist die Elektrodenschicht nicht bis an die seitliche Oberfläche des Aktorkörpers geführt, an der der Metal-

lisierungstreifen angebracht ist. Einen derartigen Bereich des Aktorkörpers bezeichnet man als piezoelektrisch inaktiven Bereich des Aktorkörpers.

**[0004]** Um die elektrische Kontaktierung jeder einzelnen Elektrodenschicht sicherzustellen, erfolgt in dem bekannten Piezoaktor eine Spannungszuführung an einen Metallisierungstreifen über eine streifenförmige, elektrisch leitfähige Mehrschichtfolie in Form einer mit Kupfer kaschierten Kunststoffolie. Die Mehrschichtfolie ist dabei über eine Kante an einem Metallisierungstreifen angelötet. Die Mehrschichtfolie erstreckt sich über die gesamte Höhe der elektrisch aktiven Schichten des Aktorkörpers. Eine vom Aktorkörper wegweisende Außenkante der Mehrschichtfolie ist mit einem starren elektrischen Anschlußelement verbunden. Mit Hilfe der Mehrschichtfolie wird ein eventuell auftretender Riß in einem Metallisierungstreifen elektrisch überbrückt. Dadurch zeigt der Piezoaktor eine hohe Zyklenzahl und damit eine lange Lebensdauer. Ein Zyklus umfaßt eine einmalige Expansion und Kontraktion des Piezoaktors bzw. des Aktorkörpers.

**[0005]** Aufgabe der Erfindung ist es, einen Piezoaktor anzugeben, der gegenüber einem bekannten Piezoaktor eine verbesserte elektrische Kontaktierung und damit eine höhere Zyklenzahl und längere Lebensdauer aufweist.

**[0006]** Zur Lösung der Aufgabe wird ein Piezoaktor mit einem Aktorkörper und einer elektrisch leitfähigen Mehrschichtfolie zu einer Steuerung einer Expansion und einer Kontraktion des Aktorkörpers angegeben, wobei die Mehrschichtfolie mindestens eine Trägerschicht, mindestens eine elektrische Leitungsschicht und mindestens ein starres elektrisches Anschlußelement aufweist. Die Mehrschichtfolie ist dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Leitungsschicht mindestens ein Loch aufweist.

**[0007]** Die Mehrschichtfolie kann, wie oben beschrieben, indirekt über einen Metallisierungstreifen mit den Innenelektroden des Aktorkörpers verbunden sein. Die Mehrschichtfolie kann aber auch direkt an den Innenelektroden angeordnet sein. Beispielsweise ist die Mehrschichtfolie an die Innenelektroden angelötet. Das elektrische Anschlußelement dient einer elektrischen Kontaktierung der elektrischen Leitungsschicht der Mehrschichtfolie. Es ist beispielsweise an einer vom Aktorkörper wegweisenden Kante der Mehrschichtfolie so angelötet, daß die Mehrschichtfolie von dem Anschlußelement überragt wird. Das Anschlußelement kann auch direkt auf eine Fläche der Leitungsschicht angebracht sein.

**[0008]** Aufgrund der Expansion und Kontraktion des Aktorkörpers treten in einer Außenelektrode, die in Richtung der Expansion und Kontraktion am Aktorkörper befestigt ist, mechanische Spannungen auf. Diese mechanischen Spannungen können zu einem Riß in der Außenelektrode führen. Ein Riß kann dabei nicht nur in einem Metallisierungstreifen auftreten. Ein Riß kann sich auch in einer elektrisch leitfähigen Mehr-

aus einem Aktorkörper und zwei Mehrschichtfolien mit starren elektrischen Anschlußelementen von der Seite.

Figur 1b zeigt einen Querschnitt einer Mehrschichtfolie.

Figuren 2a bis 2c zeigen verschiedene Ausführungsformen der elektrischen Leitungsschicht einer Mehrschichtfolie.

Figuren 3a und 3c zeigen jeweils einen Ausschnitt der Mehrschichtfolie an den Löchern von oben.

Figur 4 zeigt ein Verfahren zur Herstellung einer Mehrschichtfolie.

**[0031]** Der Piezoaktor 1 nach Figur 1a besteht aus einem Aktorkörper 11 in Form eines Stapels von Piezokeramiksichten 10 und dazwischen angeordneten Elektrodenschichten als Innenelektroden 14 und 15. Eine Piezokeramiksicht 10 besteht aus einem PZT-Material. Das Material einer Innenelektrode 14 und 15 umfaßt eine silberhaltige Einbrennpaste.

**[0032]** An den beiden seitlichen Oberflächen 12 und 13 des Aktorkörpers 11, parallel zu der Richtung 19, in der die Expansion 17 und die Kontraktion 18 des Aktorkörpers 11 stattfindet, ist jeweils ein Metallisierungstreifen 20 bzw. 21 angebracht. Ein Metallisierungstreifen 20 bzw. 21 besteht aus einer eingebrannten Silberpaste. Jeweils eine elektrisch leitfähige Mehrschichtfolie 16 ist über ein Lot mit dem Metallisierungstreifen 20 oder 21 der Oberfläche des Aktorkörpers 11 mechanisch und elektrisch leitend verbunden. Die Verbindung erfolgt jeweils über die Höhe der zu kontaktierenden Elektrodenschichten. Die Mehrschichtfolie 16 besteht aus einer Trägerschicht 165 aus Polyimid und einer elektrischen Leitungsschicht 166 aus Kupfer (siehe Figur 1b). An jede Mehrschichtfolie 16 ist ein starres elektrisches Anschlußelement 22 angelötet. Ein Anschlußelement 22 ist dabei an einer vorn Aktorkörper 11 wegweisenden Kante der Mehrschichtfolie 16 angebracht und überragt sowohl den Aktorkörper 11 als auch die Mehrschichtfolie 16.

**[0033]** Figur 2a zeigt eine Möglichkeit, wie die Leitungsschicht 166 der Mehrschichtfolie 16 strukturiert ist. Dabei sind die Löcher 161 in Form einer Vielzahl zueinander paralleler Spalte ausgebildet. Es resultieren eine Vielzahl zueinander paralleler Stege 162, die senkrecht zur Richtung 19 der Expansion 17 und Kontraktion 18 des Aktorkörpers 11 angeordnet sind.

**[0034]** In Figur 2b zeichnet sich die Anordnung der Spalte 161 dadurch aus, daß in der Summe ein Grätenmuster entsteht.

**[0035]** In der Ausführungsform 2c ist eine Vielzahl

runder Löcher 161 in die Leitungsschicht 166 eingebracht.

**[0036]** Ein Spalt 161 ist im Kontaktierungsbereich 163 nicht bis an den Rand der Leitungsschicht 166 geführt, über den die Leitungsschicht 166 mit den Innenelektroden bzw. einem Metallisierungstreifen 20 bzw. 21 verbunden ist (Figuren 3a bis 3c). Die Ausgestaltung eines Spalts 161 an einer solchen Stelle kann unterschiedlich sein. Nach Figur 3a nimmt ein Durchmesser 167 des Spalts 161 kontinuierlich bis zu einem bestimmten Endwert ab. In Figur 3b weist der Spalt 161 im Kontaktierungsbereich 163 über eine bestimmte Länge 164 einen verkleinerten Durchmesser 167 auf. In der Ausführungsform nach Figur 3c ist ein Spalt 161 im Kontaktierungsbereich 163 gerundet. Durch eine Rundung 170 wird die Korbempfindlichkeit der Leitungsschicht 161 herabgesetzt.

**[0037]** Weitere Ausführungsformen zeichnen sich dadurch aus, daß in dem Bereich, in dem das starre elektrische Anschlußelement 22 mit der Leitungsschicht 166 fest verbunden ist, die Leitungsschicht 166 diese Löcher 161 zur Spannungsminimierung aufweist.

**[0038]** Weitere Ausführungsformen ergeben sich dadurch, daß die Löcher Ausschnitte 168 und/oder Sacklöcher 169 sind. Ein Spalt in Form eines Sacklochs ist ein Graben.

**[0039]** Jede dieser Ausführungsformen hat zum Ziel, die mechanischen Spannungen in der Mehrschichtfolie 16 auf ein Minimum zu reduzieren bzw. die mechanischen Spannungen ausgehend vom Aktorkörper 11 bis hin zum starren elektrischen Anschlußelement 22 abzubauen. Die Ausführungsformen können sich dabei materialbezogen unterscheiden. Materialbezogen bedeutet, daß hier sowohl das Material der Trägerschicht 165 als auch das Material der Leitungsschicht 166 eine Rolle spielt. Ebenso spielt hier die Größe der Löcher 161 eine Rolle. Je nach Durchmesser 167 der Löcher 161 wird ein unterschiedliches Design zu einem Minimum an Spannungsenergie im Aktorbetrieb führen.

**[0040]** Zur Herstellung 100 der Mehrschichtfolie 16 werden in einem ersten Schritt 101 die Leitungsschicht 166 und die Trägerschicht 165 zusammengebracht. Dazu wird die Leitungsschicht 166 auf die Trägerschicht 165 geklebt.

**[0041]** In einem zweiten Schritt 102 werden die Löcher 161 erzeugt. Dies geschieht in einem photolithographischen Verfahren.

## Patentansprüche

1. Piezoaktor (1) mit einem Aktorkörper (11) und einer elektrisch leitenden Mehrschichtfolie (16) zu einer Steuerung einer Expansion (17) und einer Kontraktion (18) des Aktorkörpers (11), wobei die Mehrschichtfolie (16) mindestens eine Trägerschicht (165), mindestens eine elektrische Leitungsschicht (166) und mindestens ein starres elektrisches

Anschlußelement (22) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die elektrische Leitungsschicht (166) mindestens ein Loch (161) aufweist.

ein Loch durch ein photolithographisches Verfahren erzeugt wird.

2. Piezoaktor nach Anspruch 1, wobei mindestens ein Loch (161) der Leitungsschicht (166) ein Sackloch (169) ist. 5
3. Piezoaktor Anspruch 1 oder 2, wobei mindestens ein Loch (161) der Leitungsschicht (166) ein Ausschnitt (168) ist. 10
4. Piezoaktor einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei mindestens ein Loch (161) der Leitungsschicht (166) ein Spalt ist. 15
5. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Leitungsschicht (166) mindestens ein Metall aufweist. 20
6. Piezoaktor nach Anspruch 5, wobei das Metall aus der Gruppe Aluminium, Beryllium, Cobalt, Eisen, Kupfer und Nickel ausgewählt ist. 25
7. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Trägerschicht ein Verformungsmaterial aufweist.
8. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Trägerschicht (165) mindestens ein Loch aufweist. 30
9. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Trägerschicht (165) ein elektrisch isolierendes Material aufweist. 35
10. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Trägerschicht (165) Polyimid aufweist. 40
11. Verfahren zur Herstellung einer Mehrschichtfolie mit mindestens einer Trägerschicht und mindestens einer elektrischen Leitungsschicht zur Steuerung einer Expansion und Kontraktion eines Piezoaktors, insbesondere eines Piezoaktors nach einem der Ansprüche 1 bis 10 wobei mindestens ein Loch in einer Leitungsschicht erzeugt wird. 45
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei ein Loch in der Leitungsschicht vor einem Zusammenbringen der Trägerschicht und der Leitungsschicht erzeugt wird. 50
13. Verfahren Anspruch 11 oder 12, wobei ein Loch in der Leitungsschicht nach einem Zusammenbringen der Trägerschicht und der Leitungsschicht erzeugt wird. 55
14. Verfahren einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei ein Loch durch Stanzen erzeugt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei ein Loch mit Hilfe elektromagnetischer Strahlung erzeugt wird.

FIG 1A

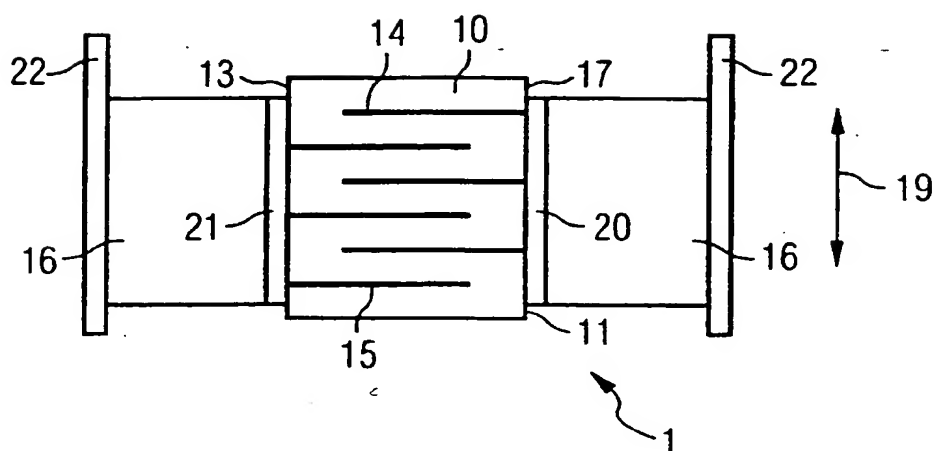


FIG 1B

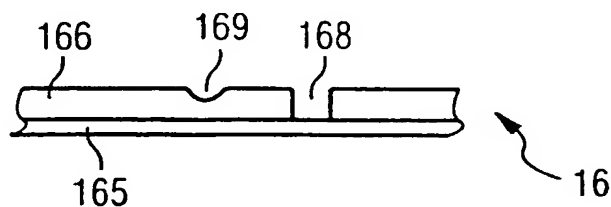


FIG 4

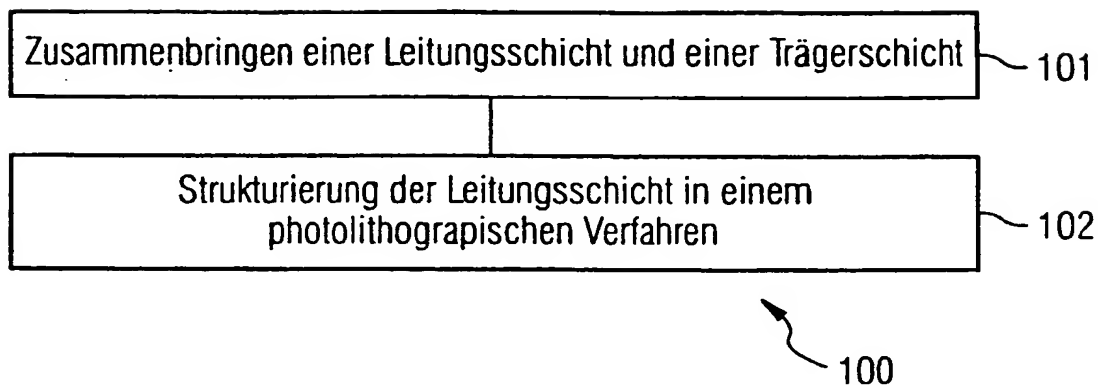


FIG 2A

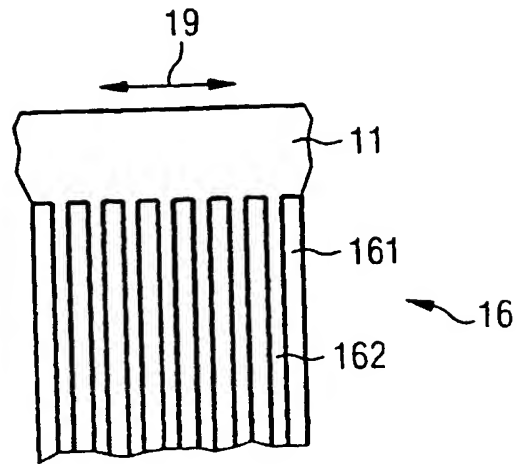


FIG 2B

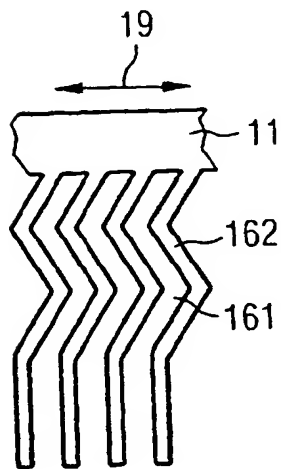


FIG 2C

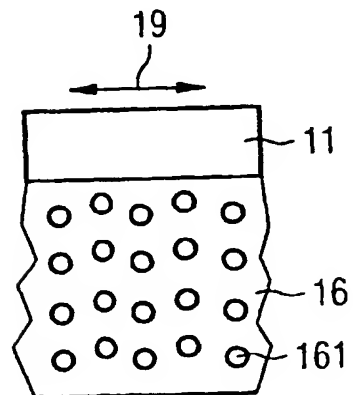




FIG 3A

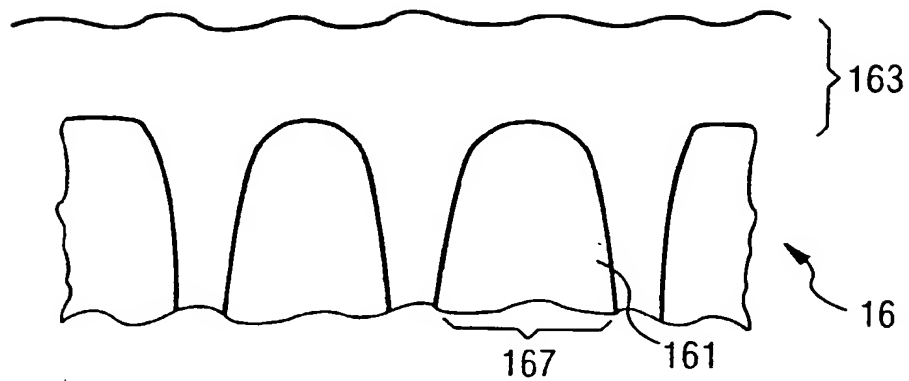


FIG 3B

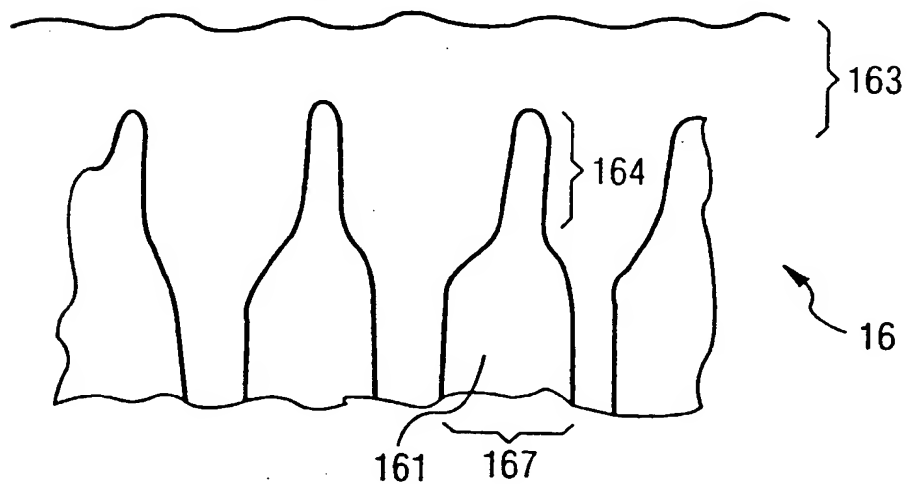
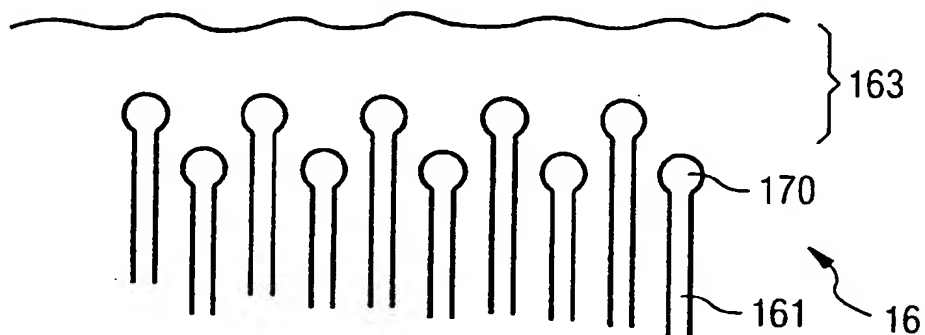


FIG 3C



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# Piezoelectric actuator with a conductive multilayer foil and method of manufacturing the multilayer foil

**Patent number:** EP1065735  
**Publication date:** 2001-01-03  
**Inventor:** SCHUH CARSTEN (DE); LUBITZ KARL (DE); CRAMER DIETER (AT); STEINKOPFF THORSTEN (DE); HAHN IRIS (DE); WOLFF ANDREAS (DE); SCHERER CLEMENS (DE)  
**Applicant:** SIEMENS AG (DE); EPCOS AG (DE)  
**Classification:**  
- international: H01L41/047  
- european: H01L41/047; H01L41/083  
**Application number:** EP20000113520 20000626  
**Priority number(s):** DE19991029687 19990629

**Also published as:**

US6528927 (B  
EP1065735 (A:

**Cited documents:**

DE19740570  
DE19715488  
DE19615694  
DE19646676  
JP3004576

## Abstract of EP1065735

The electrically-conducting layer includes hole(s) (161) An Independent claim is included for the corresponding method of making the multilayer.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

TEL. (6) 2-1100  
H. 127400  
P.O.  
AL 33025  
PA. 33025

THIS PAGE BLANK (USPTO,

DOCKET NO: S3-02 P 14928  
SERIAL NO: PCT/DE03/02730  
APPLICANT: Willibald Schürz et al.  
LERNER AND GREENBERG P.A.  
P.O. BOX 2480  
HOLLYWOOD, FLORIDA 33022  
TEL. (954) 925-1100